

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Testování monitorů krevního tlaku**  
**NIBP Monitor Tester**

**Blood Pressure Monitors Testing**  
**NIBP Monitor Tester**

**2010**

**Jiří Moravec**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Moravec**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3901R039 Biomedicínský technik**  
Téma: **Testování monitorů krevního tlaku  
NIBP Monitor Tester**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor metodiky testování monitorů krevního tlaku.
2. Seznámení se s testerem monitorů krevního tlaku BP Pump a ovládacím SW.
3. Realizace podrobného návodu pro měření s testerem monitorů krevního tlaku BP Pump.
4. Návrh a realizace laboratorní úlohy pro práci s testerem BP Pump (dle standardů laboratoře Biomedicínského inženýrství).
5. Provedení série testů na skupině NIBP monitorů.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. *BP Pump 2 - operator manual* [on line]. Everett: Fluke Biomedical, 2007. Dostupné na [http://assets.fluke.com/manuals/bppump2\\_omeng0000.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/bppump2_omeng0000.pdf)
2. WEBSTER, John G. *Medical instrumentation : application and design*. Hoboken (USA): Wiley, 1998. ISBN 0-471-15368-0

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Černý**

Datum zadání: 20.11.2009  
Datum odevzdání: 07.05.2010



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

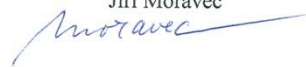


prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7. 5. 2010

Jiří Moravec

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Moravec', with a long horizontal stroke extending to the right.

Rád bych vyjádřil poděkování vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinovi Černému za odborné vedení, náměty a připomínky při vytváření této práce.

Také bych rád poděkoval zdravotnickému personálu na odděleních nemocnice a panu Ing. Lukáši Čajkovi za umožnění měření ve Fakultní nemocnici Ostrava, které bylo nezbytné pro kompletní vypracování mé bakalářské práce.

## Abstrakt

Má bakalářská práce se zabývá testováním monitorů krevního tlaku a testerem BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical, jež je určen pro testování neinvazivních monitorů krevního tlaku. Zaměřil jsem se hlavně na funkce testeru a jejich praktické využití. Z tohoto důvodu jsem vypracoval podrobný návod pro měření s testerem BP Pump 2 a následně vytvořil návrh laboratorní úlohy pro studenty oboru Biomedicínský technik. V práci je laboratorní úloha realizována a její výsledky vyhodnoceny. Hlavní funkcí testeru BP Pump 2 je testování neinvazivních monitorů krevního tlaku, a proto byla uskutečněna série testu na skupině monitorů ve Fakultní nemocnici Ostrava.

**Klíčová slova:** tester, BP Pump 2, monitor krevního tlaku, krevní tlak, senzor tlaku, simulace, test

## Abstrakt

My bachelor thesis deals with blood pressure monitors testing and with the tester BP Pump 2 from the company Fluke Biomedical which is intended for non-invasive blood pressure monitors testing. I concentrated to tester's capabilities and their practical use. For this reason I elaborated a detailed guide for measuring with the tester BP Pump 2 and I subsequently created a proposal of a laboratory task for students of Biomedical Engineering. The laboratory task is realized in this work and its results are evaluated. The non-invasive blood pressure monitors testing is the main function of the tester BP Pump 2, consequently a series of tests has been done on a group of monitors at the Faculty Hospital in Ostrava.

**Key words:** tester, BP Pump 2, blood pressure monitor, blood pressure, pressure sensor, simulation, test

## Seznam použitých symbol a zkratek

<u>Zkratka</u>	<u>Význam zkratky</u>
AC	střídavý proud (alternating current)
BP	krevní tlak (blood pressure)
Hz	hertz
MAP	střední arteriální tlak (mean arterial pressure)
NIBP Monitor	neinvazivní monitor krevního tlaku (non-invasive blood pressure monitor)
P	tlak [Pa]
Pa	pascal
U	napětí [V]
V	volt
bpm	úderů za minutu (beats per minute)
cm <sup>3</sup>	centimetr krychlový
cmH <sub>2</sub> O	centimetr vodního sloupce
inH <sub>2</sub> O	palec vodního sloupce ( inch of water)
kPa	kilopascal
mmHg	milimetr rtuťového sloupce
mV	milivolt
psi	libra na čtverečný palec (pound per square inch)
s	sekunda
t	čas [s]

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Metodika testování monitorů krevního tlaku .....	10
2.1	Metodika testování BP Pump 2 testerem .....	10
3	BP Pump 2 Non-Invasive Blood Pressure Monitor Analyzer .....	12
3.1	Technické specifikace.....	12
3.2	Zapojení měřicího řetězce .....	13
3.2.1	Zapojení I. s vnitřní manžetou .....	13
3.2.2	Zapojení II. s externí manžetou .....	14
3.2.3	Zapojení III. s externí zápěstní manžetou.....	14
3.3	Statické testy .....	15
3.3.1	Test těsnosti pneumatického systému (Pressure Leak Test).....	15
3.3.2	Test pojistných ventilů (Pressure Relief Test) .....	15
3.3.3	Test kalibrace zdroje (Pressure Gauge Test) .....	15
3.3.4	Test kalibrace tlakového snímače (Pressure Source Test).....	16
3.4	Dynamické simulace.....	16
3.4.1	Standardní krevní tlaky (Standard Blood Pressure) .....	16
3.4.2	Simulace na základě zdravotního stavu pacientů (Patient Conditions).....	17
3.4.3	Simulace arytmií srdce (Arrhythmias) .....	17
3.4.4	Simulace dýchacích artefaktů (Respiratory Artifacts) .....	18
3.4.5	Simulace krevního tlaku novorozence (Neonate) .....	18
3.4.6	Simulace pro zápěstní přístroj (Wrist) .....	19
3.5	Další funkce BP Pump 2 .....	19
3.5.1	Uživatelské definice (User-Defined).....	19
3.5.2	Autosekvence .....	19
3.6	Software Ansur pro BP Pump 2 .....	20
4	Návod pro měření s testerem BP Pump 2 .....	21
4.1	Seznámení se s testerem.....	21
4.2	Charakteristika testeru .....	21
4.3	Popis jednotlivých součástí testeru .....	21

4.4	Konfigurace testeru před měřením .....	23
4.4.1	Nastavení uživatelského jazyka .....	23
4.4.2	Nastavení jednotek měření .....	23
4.4.3	Nastavení nulového tlaku .....	23
4.4.4	Nastavení vlastní simulace .....	24
4.5	Příslušenství testeru .....	24
4.6	Princip funkce testeru .....	25
5	Návrh laboratorní úlohy .....	26
5.1	Cíl laboratorní úlohy .....	26
5.2	Zadání a výsledky měření .....	26
5.2.1	Napěťová charakteristika senzoru při testování digitálního tonometru .....	26
5.2.2	Série testů na digitálním monitoru krevního tlaku .....	28
5.3	Vyhodnocení výsledků .....	31
6	Testování na NIBP monitorech .....	33
6.1	Test pojistných ventilů .....	33
6.2	Test těsnosti pneumatického systému .....	34
6.3	Simulace krevního tlaku 120/80 (80bpm) .....	34
7	Závěr .....	37



# 1 Úvod

Testování neinvazivních monitorů krevního tlaku je dnes nedílnou součástí provozu všech zdravotnických zařízení. Jedná se hlavně o pravidelné kontroly správné funkce a technického stavu monitorů krevního tlaku, jejich kalibrace a validace. Pro tyto úkony je třeba kvalifikovaných odborníků a také odpovídajícího technického vybavení, které umožní správné vyhodnocení stavů kontrolovaných přístrojů. Pro tyto účely je vhodný například přístroj, kterým se zabývám v mé bakalářské práci; jedná se o tester monitorů krevního tlaku BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical. Dále je potřeba znalost příslušných norem, které předepisují funkční požadavky na neinvazivní monitory krevního tlaku, stanovené Českým metrologickým institutem.

Tlak krve je v dnešní době veličinou, která se velmi často měří a hodnotí, jelikož se jedná, pro zdravotnické pracovníky, o velice dobrý ukazatel stavu kardiovaskulárního systému člověka. Pro měření krevního tlaku se dnes již z valné většiny nepoužívají rtuťové sfygmomanometry pro svou relativně náročnou obsluhu a riziko uvolnění toxického těžkého kovu do prostředí. Naopak nejpoužívanější se staly elektronické monitory krevního tlaku, tzv. digitální tonometry, které se vyznačují snadnou obsluhou zvládnutelnou i pro laika.

Pro hlubší pochopení funkce testeru monitorů krevního tlaku BP Pump 2 je třeba zjistit, na jakých principech samotný tester pracuje. To je důležité pro ověření jeho správné funkce a přesnosti měření. Nesprávně nebo nepřesně pracující tester by nemohl být používán pro kalibrace a validace jiných přístrojů. Způsobilost k měření v této práci prověří laboratorní úloha, vytvořená právě pro ověření bezchybného provozu testeru BP Pump 2. Mimo jiné, tato laboratorní úloha bude posléze sloužit jako výukové cvičení v předmětu Zdravotnické elektrické přístroje.

## 2 Metodika testování monitorů krevního tlaku

Většina automatických monitorů krevního tlaku používá oscilometrickou metodu. Systolický, diastolický a střední tlak jsou určeny softwarovými algoritmy. Tyto algoritmy jsou výrobci považovány za intelektuální vlastnictví a jsou utajované. Komerční testovací přístroje jsou schopné přesně testovat statické funkce monitoru, ale dynamickou přesnost určit nemohou. Tento nedostatek je dán jednak tím, že přístroje simulují oscilometrické tlakové vlny mechanicky a jednak tím, že nejsou známy komerční algoritmy pro určení krevního tlaku. Neexistuje ani generický, obecně platný algoritmus, který by se dal k dynamickému testování použít. Vzhledem k tomuto nedostatku bylo vyvinuto několik norem pro validace monitorů. Validace porovnávají výsledky měření provedené monitorem s referenčním měřením tlaku tradiční metodou s použitím sfygmomanometru a stetoskopu.

K validacím monitoru podle norem je třeba řady dobrovolníků s velkým rozsahem krevních tlaků a obvodů měřených paží. Autoři navrhli novou metodu pro testování algoritmické přesnosti monitorů. Tato metoda je založena na databázi fyziologických oscilometrických tlakových vln a referenčních hodnot krevního tlaku. Účelem databáze je umožnit testování algoritmických měření krevního tlaku bez neustálého opakování validací podle norem. Databázi je možné vyvinout s použitím specializovaného systému na získávání a ukládání oscilometrických dat. Dynamické testování oscilometrických monitorů se dá provádět za podmínky, že monitory jsou vybaveny interfejsem, který umožňuje digitální komunikaci s algoritmickou částí monitoru. Takové vybavení v současné době monitory krevního tlaku nemají, ale zmíněný interfejs není obtížné vyvinout. Navrhovanou databázi je třeba vyvinout pouze jednou a testování s použitím uložených tlakových vln a referenčních měření tlaku je možno provádět rychle a opakovaně. Oscilometrické tlakové vlny obsahují hemodynamické informace, které přesahují rámec měření tlaku. Tyto informace by mohly sloužit k výzkumu nových metod.

[1]

### 2.1 Metodika testování BP Pump 2 testerem

K běžnému testování monitorů krevního tlaku i příručních digitálních tonometrů lze použít specializované simulátory. Jeden z nich, tester BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical, dokáže monitory krevního tlaku testovat statickými tlakovými testy, např. pro prověření těsnosti pneumatické soustavy přístroje, tak i simulacemi různých krevních tlaků dle nastavení uživatele. Tester je vybaven kovovým trnem, ke kterému se připevňuje talková hadička, propojující tester a testovaný přístroj. Trn je vyústěním tlakového mechanismu testovacího obvodu testeru, který při simulacích krevního tlaku změnou tlaku v měřicím řetězci simuluje oscilace způsobené průtokem krve, při měření krevního tlaku, pod manžetou. Simulovat lze buď různé průběhy

tlakové křivky (simulace TK), s možností nastavení hodnot systolického tlaku, diastolického tlaku, pulzu i amplitudy oscilací, nebo konstantní tlak definovaný uživatelem (Static Pressure Tests).

[2]

Na fotografii níže (Obrázek 2.1-1) je tester BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical s příslušenstvím. Příslušenství obsahuje ještě napájecí kabel, sériový kabel R232 a software Ansur; tyto komponenty na fotografii nejsou.



**Obrázek 2.1-1 Tester BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical s příslušenstvím.**

## 3 BP Pump 2 Non-Invasive Blood Pressure Monitor Analyzer

FLUKE Biomedical BP Pump 2, simulátor krevního tlaku a tester monitorů krevního tlaku, je mnohoúčelový přístroj pro využití u oscilometrických neinvazivních monitorů krevního tlaku. Tester nabízí dynamické simulace krevního tlaku, statické kalibrace, testy těsnosti pneumatických soustav monitorů a tlakové testy pomocných ventilů.

### 3.1 Technické specifikace

#### Zdroj

- rozsah 100 – 240 V AC 50/60 Hz

#### Okolní podmínky

- provozní teplota od 15 °C do 40 °C
- skladovací teplota od -20 °C do +65 °C
- relativní vlhkost 90 % max.

#### Tlakové měření

- jednotky kPa, mmHg, cmH<sub>2</sub>O, inH<sub>2</sub>O, psi
- rozsah od 0 mmHg do +400 mmHg
- rozlišení 0,1 kPa; 0,1 psi; 1 mmHg; 1 cmH<sub>2</sub>O  
1 inH<sub>2</sub>O
- přesnost
  - od 0 do 300 mmHg ± 0,5 % (±1 mmHg)
  - od 301 do 400 mmHg ± 2 %

#### Vytváření tlaku

- tlakový generátor,  
rozsah stálého tlaku od 50 mmHg do +400 mmHg  
(6,7 – 53,3 kPa)
- rozdíl mezi cílovým  
a aktuálním tlakem ± 10 mmHg z 100 – 400 mmHg  
(min. objem 300 cm<sup>3</sup>)
- vnitřní únik tlaku < 2 mmHg / min (min. objem 300 cm<sup>3</sup>)

### Srdeční tep při NIBP simulacích

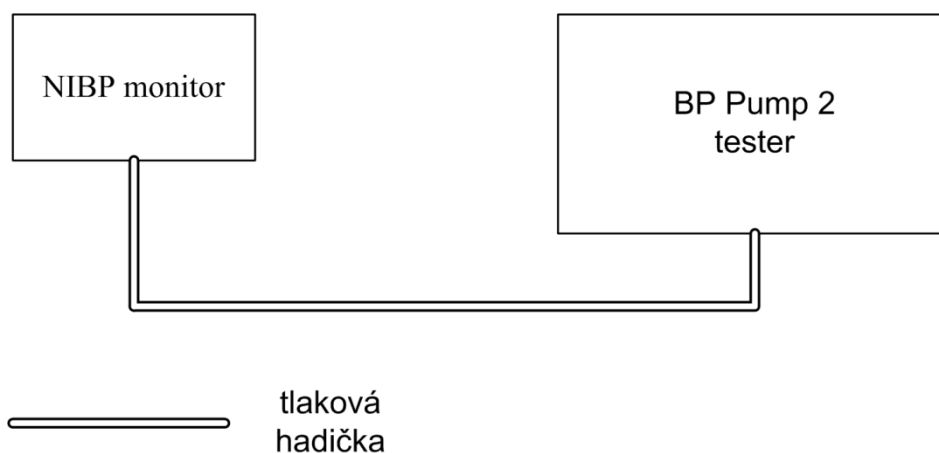
- přesnost tepů  $\pm 1$  bpm
- přesnost tepů při následujících simulovaných „stavech“ pacienta
  - slabý pulz, tachykardie, obezita, stáří  $\pm 1$  % ( $\pm 1$  bpm)
  - patientský stav „lehká námaha“  $\pm 1,5$  % ( $\pm 1$  bpm)
  - patientský stav „těžká námaha“  $\pm 3$  % ( $\pm 1$  bpm)

[3]

## 3.2 Zapojení měřicího řetězce

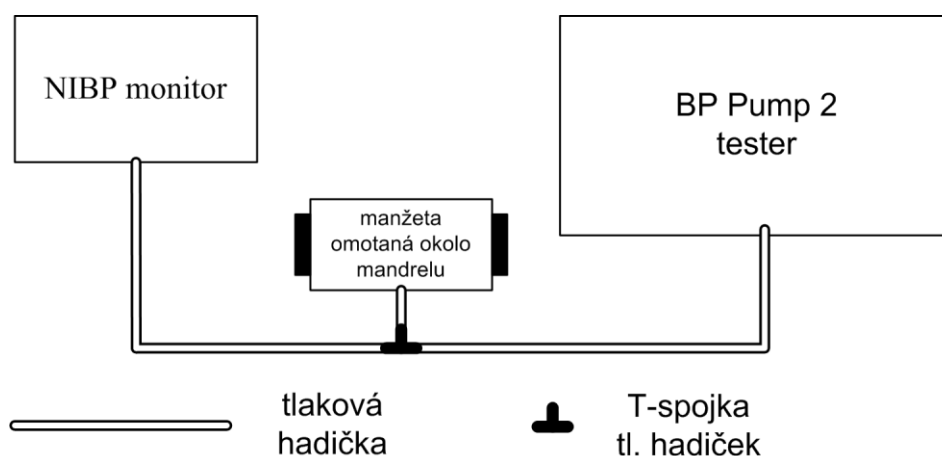
Měřicí řetězec se skládá z testeru monitorů krevního tlaku BP Pump 2, testovaného monitoru krevního tlaku, tlakové manžety a soustavy propojovacích hadic. Při použití externí manžety je součástí měřicího řetězce také simulátor paže (zápěstí), tzv. Mandrel.

### 3.2.1 Zapojení I. s vnitřní manžetou



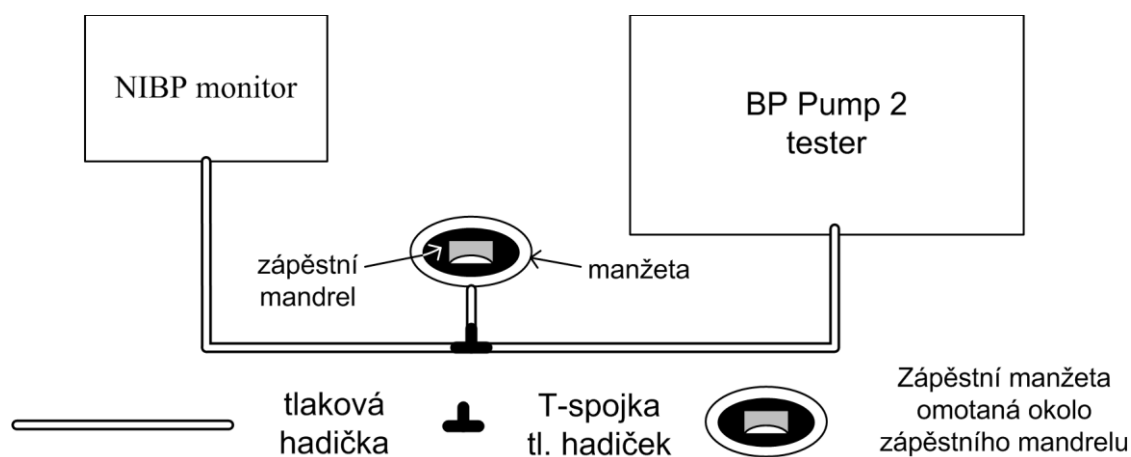
Obrázek 3.2-1 Schéma zapojení I. měřicího řetězce.

### 3.2.2 Zapojení II. s externí manžetou



Obrázek 3.2-2 Schéma zapojení II. měřicího řetězce.

### 3.2.3 Zapojení III. s externí zápěstní manžetou



Obrázek 3.2-3 Schéma zapojení III. měřicího řetězce.

[3]

### 3.3 Statické testy

Jedná se o statické tlakové testy, tzn., že hodnota přednastaveného tlaku se v průběhu měření nebude měnit. Před započítím každého testu je nutné správně nastavit manžetu (externí nebo vnitřní), která bude použita při měření. Je třeba také zvolit správné zapojení měřicího řetězce, podle druhu prováděného testu.

#### 3.3.1 *Test těsnosti pneumatického systému (Pressure Leak Test)*

Test prověří těsnost měřicího řetězce. Tester vytvoří tlak v měřicím řetězci, na uživatelem přednastavenou hodnotu (max. 400 mmHg; standardně na 250 mmHg ) a poté měří únik tlaku v čase. Před začátkem tohoto testu je nutné přístroj nastavit do „kalibrovacího“ nebo „servisního“ režimu. Jelikož u jednodušších digitálních tonometrů nelze uzavřít pojistné ventily, které jsou viníkem úniku tlaku při tomto testu, je třeba použít zapojení měřicí soustavy pouze s manžetou a testerem bez tonometru. Jinak se běžně používá zapojení měřicího řetězce I., II. nebo III.; záleží na testovaném přístroji.

#### 3.3.2 *Test pojistných ventilů (Pressure Relief Test)*

Tento test prověří správnou funkci pojistných (odvzdušňovacích) ventilů testovaného přístroje. Tester zvyšuje tlak v měřicím řetězci, dokud se neotevřou pojistné ventily, nebo dokud není překročen přednastavená hodnota tlaku (standardně na 380 mmHg). Před začátkem tohoto testu je nutné přístroj nastavit do „kalibrovacího“ nebo „servisního“ režimu. Toto nastavení je nezbytné k uzavření pojistných ventilů, kterými by jinak vytvářený tlak unikal. U jednodušších tonometrů toto nastavení nelze provést, tudíž je nutné zároveň s testem spustit i měření na tonometru. Ventily se uzavřou a tlak vytvářený testerem a tonometrem se sečtou. To dovolí dosáhnout hodnoty tlaku, potřebné k otevření pojistných ventilů. Pokud je přednastavený tlak překročen a pojistné ventily se neotevřou, je třeba provést další měření, které prověří případnou nefunkčnost ventilů. K testeru se připojí do měřicího řetězce jak tonometr, tak i manžeta, tzn., použití zapojení měřicího řetězce II., III.

#### 3.3.3 *Test kalibrace zdroje (Pressure Gauge Test)*

Tento test umožňuje testeru měřit tlak generovaný externím (jiným) zdrojem v rozsahu od 0 do +400 mmHg (0 – 53,3 kPa). Testuje se tím správná funkce tlakového snímače měřeného přístroje. Při tomto testu se používá zapojení měřicího řetězce I., II. nebo III.

### 3.3.4 Test kalibrace tlakového snímače (*Pressure Source Test*)

Tento test umožňuje testeru generování tlaku a jeho současnému měření. Test se využívá ke statické kalibraci neinvazivních monitorů krevního tlaku, kontrolám sfygmomanometrů a hodnocení různých medicínských zařízení pracujících při měření tlaku v rozsahu 50 až 400 mmHg. V okamžiku, kdy je při testu dosažen přednastavený tlak (standardně 200 mmHg), tester přestane udržovat tlak v systému. Pokud testovaný přístroj po dosažení přednastaveného tlaku ukazuje jinou hodnotu tlaku, měl by být přístroj nejdříve testován na úniku tlaku v měřicím řetězci některým ze statických testů tlaku. Pokud by po prověření těsnosti stále ukazoval odlišnou hodnotu tlaku, tlakový snímač je vadný. Při tomto testu se používá zapojení měřicího řetězce I., II. nebo III.

[3]

## 3.4 Dynamické simulace

Simulovat lze různé průběhy tlakové křivky (simulace TK), s možností nastavení hodnot systolického tlaku, diastolického tlaku, pulzu i amplitudy oscilací. Tester nabízí různé varianty přednastavených simulací krevního tlaku pro pažní i zápěstní manžetu. Před započítím každé simulace krevního tlaku je nutné správně nastavit manžetu, která bude použita.

### 3.4.1 Standardní krevní tlaky (*Standard Blood Pressure*)

V tabulce níže je přehled přednastavených druhů simulací standardních krevních tlaků (Tabulka 3.4.1-1). Při této simulaci se používá zapojení měřicího řetězce I. nebo II.

Program simulace	Krevní tlak (mmHg)(MAP)	Srdeční pulz (bpm)	Pulzní objem (cm <sup>3</sup> )
1	120/80 (93)	80	0,68
2	150/100 (116)	80	0,65
3	200/150 (166)	80	0,60
4	255/195 (215)	80	0,55
5	60/30 (40)	80	0,75
6	80/50 (60)	80	0,71
7	100/65 (76)	80	0,69

**Tabulka 3.4.1-1 Simulace standardních krevních tlaků.**



### 3.4.2 Simulace na základě zdravotního stavu pacientů (Patient Conditions)

Simulace průběhů tlakových křivek pacientů s různými zdravotními stavy (Tabulka 3.4.2-1). Při těchto simulacích se používá zapojení měřicího řetězce I. nebo II.

Stav pacienta	Krevní tlak (mmHg)(MAP)	Srdeční pulz (bpm)	Pulzní objem (cm <sup>3</sup> )
zdravé srdce	120/80 (93)	75	0,68
slabý pulz	110/80 (90)	95	0,50
lehká námaha	140/90 (106)	120	1,00
těžká námaha	140/90 (106)	162	1,40
obezita	120/80 (93)	90	0,50
stáří	150/110 (123)	95	0,40
tachykardie	120/105 (110)	130	0,40
bradykardie	120/60 (80)	45	1,10

**Tabulka 3.4.2-1 Simulace na základě zdravotních stavů pacientů.**

### 3.4.3 Simulace arytmií srdce (Arrhythmias)

Arytmie srdce způsobují nepravdivé a nesprávné měření monitorů krevního tlaku. Určení krevního tlaku pacienta přísně závisí na tom, co se děje s jeho tlakem, když tlak v manžetě dosahuje určité úrovně. Některé monitory krevního tlaku přestanou měřit, dokud nezaznamenají dva nebo více si navzájem podobných pulzů. Model postupu poklesu a měřeného krevního tlaku závisí na tom, jaké pulzy nastanou během postupného tlakování manžety. Při těchto simulacích se používá zapojení měřicího řetězce I. nebo II. Přednastavené druhy simulací arytmií znázorňuje následující tabulka (Tabulka 3.4.3-1 Simulace arytmií srdce.).

Typ arytmie	Krevní tlak (mmHg)(MAP)	Srdeční pulz (bpm)
předčasný stah síní #1	138/53 (81)	80
předčasný stah síní #2	144/64 (90)	83
předčasná stah komor	118/61 (80)	83
fibrilace síní a předčas. stah komor	139/72 (94)	91

**Tabulka 3.4.3-1 Simulace arytmií srdce.**

### 3.4.4 Simulace dýchacích artefaktů (*Respiratory Artifacts*)

Dýchací artefakty představují změnu krevního tlaku mezi beat-to-beat (dobou mezi dvěma úderý srdce). Změny tlaku ovlivní plnění srdečních síní během diastoly. To následně ovlivní sílu úderu srdce i objem krve ze srdce vypuzený. Mocný úder totiž vyvine vyšší systolický tlak než malý úder. Při těchto simulacích se používá zapojení měřicího řetězce I. nebo II. Přednastavené druhy simulací artefaktů dýchání znázorňuje následující tabulka (Tabulka 3.4.4-1).

Typ artefaktu	Krevní tlak (mmHg)(MAP)	Srdeční pulz (bpm)	Pulzní objem (cm <sup>3</sup> )
spontánní dýchání #1	138/65 (89)	104	různé
spontánní dýchání #1	149/65 (93)	105	různé
spontánní dýchání #1	112/47 (68)	86	různé
řízená ventilace	132/44 (73)	98	různé

**Tabulka 3.4.4-1 Simulace dýchacích artefaktů.**

### 3.4.5 Simulace krevního tlaku novorozence (*Neonate*)

Tato simulace je určena k ověření schopnosti monitorů krevního tlaku změřit krevní tlak novorozeneckému pacientovi. Při těchto simulacích se používá zapojení měřicího řetězce I. nebo II. Přednastavené druhy simulací znázorňuje následující tabulka (Tabulka 3.4.5-1).

Simulace	Krevní tlak (mmHg) (MAP)	Srdeční pulz (bpm)	Pulzní objem (cm <sup>3</sup> )
1	35/15 (22)	120	0,11
2	60/30 (40)	120	0,10
3	80/50 (60)	120	0,10
4	100/70 (80)	120	0,10

**Tabulka 3.4.5-1 Simulace TK novorozence.**

### 3.4.6 Simulace pro zápěstní přístroj (Wrist)

Tyto simulace jsou určeny pro použití se zápěstním monitorem neinvazivního krevního tlaku. Při těchto simulacích se používá zapojení měřicího řetězce III. Přednastavené druhy simulací znázorňuje následující tabulka (Tabulka 3.4.6-1).

Simulace	Krevní tlak (mmHg)(MAP)	Srdeční pulz (bpm)	Pulzní objem (cm <sup>3</sup> )
1	120/80 (90)	80	0,50
2	160/100 (120)	80	0,50
3	80/50 (63)	80	0,50

**Tabulka 3.4.6-1 Simulace pro zápěstní tonometr.**

[3]

## 3.5 Další funkce BP Pump 2

### 3.5.1 Uživatelské definice (User-Defined)

Tester BP Pump 2 umožňuje také uživateli nadefinovat si vlastní simulace, když standardní simulace přednastavené firmou FLUKE Biomedical nevyhovují požadovaným parametrům. Při samotném zadávání se definují právě tyto hodnoty:

- systolický tlak
- diastolický tlak
- srdeční pulz
- pulzní objem

Tester umožňuje nadefinovat devět vlastních simulací.

### 3.5.2 Autosekvence

Tester umožňuje uživateli vytvořit a uložit devět libovolných autosekvencí. Každá sekvence může obsahovat všechny čtyři tlakové testy a pět simulací. Při editaci autosekvence má uživatel možnost povolit nebo zakázat některé z těchto testů a simulací a také umožnit vytištění výsledku autosekvence. Důležité je nezapomenout na nastavení správného druhu manžety monitoru.

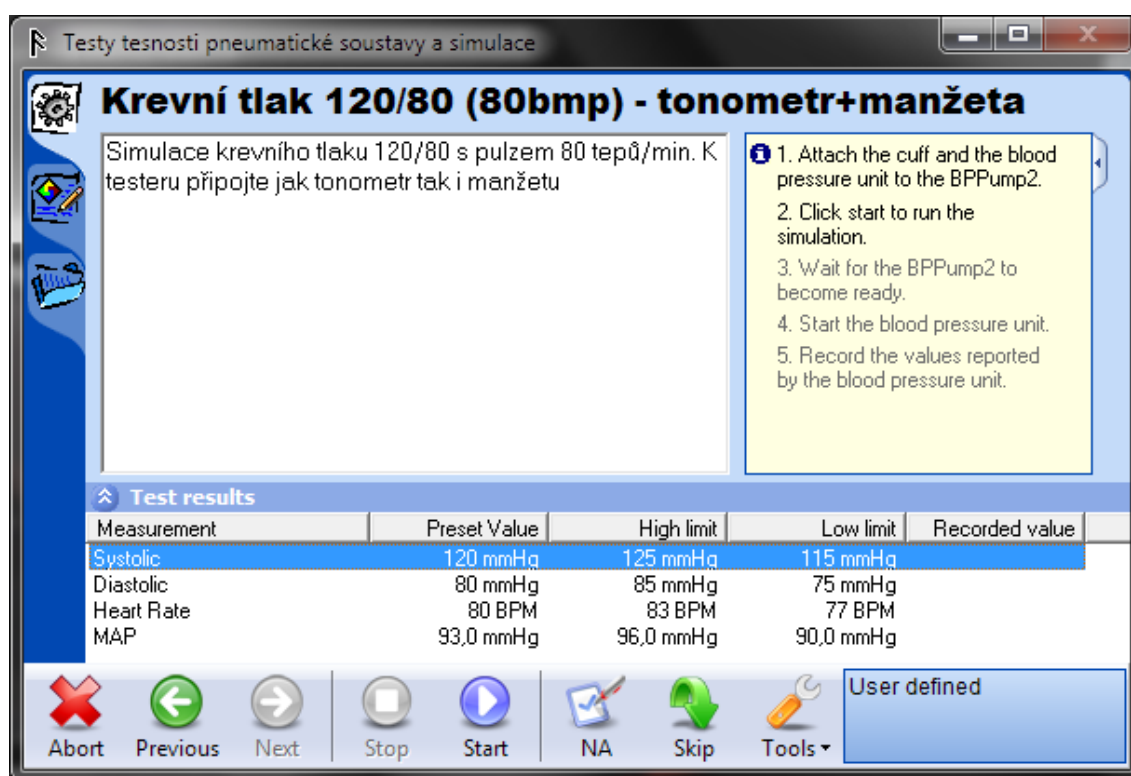
[3]

## 3.6 Software Ansur pro BP Pump 2

Ansur BP Pump 2 plug-in, podporovaný na Ansur software, nabízí vzdálený přístup ke všem možným funkcím testeru BP Pump 2. Software umožňuje použití všech simulací a testů pro vytvoření tzv. šablon pro měření, ve kterých si uživatel nadefinuje přesně ty testy a simulace, které potřebuje pro testování a naopak odstraní nepotřebné.

U každého testu nebo simulace si uživatel zvolí potřebnou konfiguraci z přednastavených, nebo si je upraví dle své potřeby. Uživatelské rozhraní také dovoluje určení hraničních limitů pro výsledné hodnoty měření, které usnadní pozdější vyhodnocení měření. Vytvořenou šablonu lze uložit a později opět použít.

Výsledkem měření pomocí Ansur je výstupní protokol, který zahrnuje výrobní informace testovaného přístroje, vložené uživatelem, zadání a výsledky všech provedených testů a simulací. Zbývá výsledky pouze vyhodnotit. Níže je ukázka spuštěné sekvence testů a simulací, vytvořené pro účely měření v této bakalářské práci (Obrázek 3.6-1).



Obrázek 3.6-1 Ukázka vytvořené autosekvence v Ansur software.

[4]

## 4 Návod pro měření s testerem BP Pump 2

V rámci této bakalářské práce byl vytvořen podrobný návod pro měření s testerem BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical. Návod obsahuje pokyny pro obsluhu testeru při nastavování testů, simulací a konfigurací před použitím a využíváním jednotlivých funkčních prvků nezbytných pro jeho bezproblémový chod při měření (testování).

### 4.1 Seznámení se s testerem

FLUKE Biomedical BP Pump 2, simulátor krevního tlaku a tester monitorů krevního tlaku, je mnohoúčelový přístroj pro využití u oscilometrických neinvazivních monitorů krevního tlaku. Tester nabízí dynamické simulace krevního tlaku, statické kalibrace, testy těsnosti pneumatických soustav monitorů a tlakové testy pomocných ventilů. Umožňuje uživateli prověření deklarovaných vlastností různých monitorů krevního tlaku. Nabízí rychle dostupné přednastavené testy a simulace díky přiřazení k jednotlivým klávesám číselníku, nebo vytvoření vlastních. S integrovaným kompresorem dokáže generovat tlak do 400 mmHg (53,3 kPa; 7,73 psi). Navíc uživatel si může vytvořit vlastní autosekvence, které automaticky po spuštění provedou všechny přednastavené testy a simulace bez většího přičinění uživatele. Tester nepracuje pouze s jednotkami milimetrů rtuťového sloupce (mmHg); dokáže měřit v dalších několika nejpoužívanějších jednotkách tlaku, jako jsou: kPa, cmH<sub>2</sub>O, inH<sub>2</sub>O a psi. Výsledky měření lze vytisknout přímo z testeru přes D-25 port.

[3]

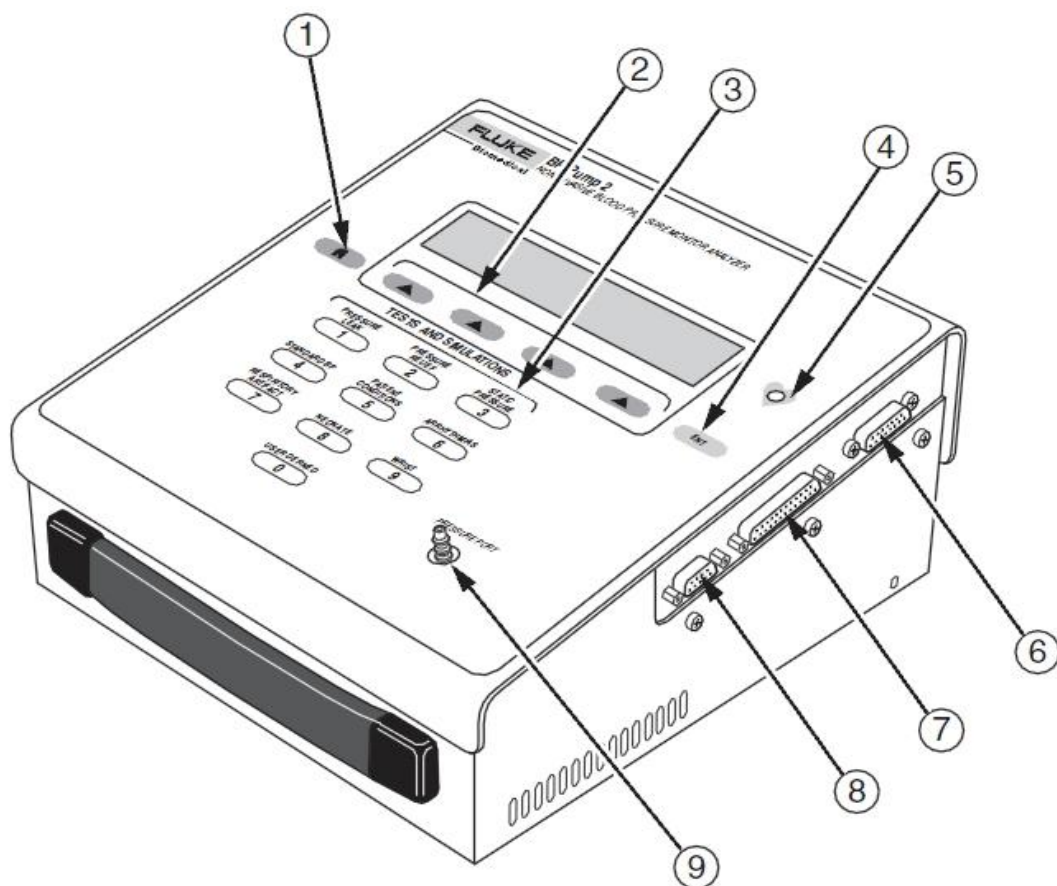
### 4.2 Charakteristika testeru

- rozměry: 25,4 cm × 25,4 cm × 12,7 cm
- hmotnost: 3,4 kg
- kompresor: 50 – 400 mmHg
- senzor tlaku: 0 – 400 mmHg
- napájení: 100 – 240 V AC 50/60 Hz

[3]

### 4.3 Popis jednotlivých součástí testeru

Na obrázku níže (Obrázek 4.3-1) je znázorněno základní rozmístění ovládacích a funkčních prvků.



**Obrázek 4.3-1 Rozmístění ovládacích a funkčních prvků na testeru.**

1. **Home Key.** Umožňuje návrat do hlavního menu odkudkoliv. Při jeho aktivaci, tester ukončí právě prováděnou činnost v některých z podnabídek hlavního menu a vrátí se na úvodní obrazovku hlavního menu.
2. **Soft Keys.** Funkční klávesy 1 – 4, při aktivaci, provedou akci přiřazenou k volbám, zobrazeným na aktuální obrazovce.
3. **Number Keys.** Klávesy testů a simulací. Tyto klávesy umožňují uživateli rychlé spuštění požadovaného testu nebo simulace, aniž by musel funkci hledat hluboko v menu.

- |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| ① Pressure Leak Test   | ② Pressure Relief Test | ③ Static Pressure Test |
| ④ Standard BP          | ⑤ Patient Conditions   | ⑥ Arrhythmias          |
| ⑦ Respiratory Artifact | ⑧ Neonate              | ⑨ Wrist                |
| ⑩ User Defined         |                        |                        |

Klávesy: ①–③ aktivují tlakové testy, ④–⑨ aktivují simulace, ⑩ umožní vytvořit a nastavit simulaci s vlastními parametry.

4. **Enter Key.** Potvrzuje výběr označené akce z nabídky a ukládá zvolené nastavení při konfiguraci testeru.
5. **Pulse Indicator.** LED dioda, synchronizovaná se bzučákem, indikující generovaný pulz při simulaci krevního tlaku.
6. **ECG Interface Port.** Nabízí připojení volitelného příslušenství EKG adaptéru, který poskytuje přesnější určení srdečního pulzu při simulacích.
7. **Printer Port.** Možnost připojení tiskárny přes D-25 female port.
8. **RS232.** Možnost připojení PC se software Ansur pro vzdálené ovládání testeru přes RS-232 sériový kabel.
9. **Pressure Port.** Přes talkové hadičky se připojí k NIBP monitoru při všech statických tlakových testech a dynamických simulacích.

[3]

## 4.4 Konfigurace testeru před měřením

### 4.4.1 Nastavení uživatelského jazyka

**Main Menu => Setup => Language => English => Enter => Home**

### 4.4.2 Nastavení jednotek měření

- a) **Main Menu => Setup => \*More => Units of Measure => mmHg => Enter => Home**
- b) **Main Menu => Setup => \*More => Units of Measure => \*More** pokud je volba jiná než mmHg => např. **CMH2O** (cmH<sub>2</sub>O) => **Enter => Home**

Pozn.: Změna jednotek měření také změní jednotku tlaku užívané v autosekvencích.

### 4.4.3 Nastavení nulového tlaku

Nastavení nulového tlaku, **Zero Pressure**, je důležité pro určení později naměřeného tlaku. Hodnota atmosférického tlaku se mění a při měření se špatně nastaveným nulovým tlakem ovlivní celé měření. Příklad: při měření v místnosti za určité hodnoty atmosférického tlaku vyšší než při kalibraci *nulového tlaku*, ukazuje tester, ještě před začátkem měření, hodnotu měřeného tlaku vyšší než 0 mmHg. Je to způsobeno tím, že tester automaticky měří rozdíl mezi *nulovým tlakem* a tlakem aktuálně naměřeným; myslí si totiž, že měření již započalo, když došlo k rozdílu tlaků.

**Main Menu => Setup => \*More => \*More => Zero Pressure => ZERO key => kalibrace proběhla => Enter => Home**

#### 4.4.4 *Nastavení vlastní simulace*

- a) **Main Menu => Setup => User Def Simulation => Number Key (1-9) => Enter => => <- Field nebo Field-> => použití číselné klávesnice pro zadání hodnot parametrů simulace; hotovo => Enter => Home**
- b) **① User defined => Options => Edit => => Enter => => <- Field nebo Field-> => použití číselné klávesnice pro zadání hodnot parametrů simulace; hotovo => Enter => Home**

Rozsahy volitelných parametrů simulací:

- **Sys** (systolický tlak) : 20 – 250 mmHg
- **Dia** (diastolický tlak) : 10 – 200 mmHg
- **Pulse** (objem pulzu) : 0,1 – 2,4 cm<sup>3</sup>, s krokem 0,1 cm<sup>3</sup>
- **HR** (srdeční frekvence) : 30 – 250 bpm

[3]

## 4.5 Příslušenství testeru

1. **Tlakové hadičky.** Slouží k vzájemnému propojení testeru a testovaného monitoru. Popřípadě současněmu propojení s přípravkem tlakového senzoru MPX5100D.
2. **Mandrelly.** Neboli simulátory paže nebo zápěstí člověka. Jedná se o neaktivní kusy příslušenství, okolo kterých se manžeta omotá; jinak by docházelo k plnění zbytečně velkého objemu vzduchu do tlakové soustavy měřicího řetězce.

Na fotografii níže (Obrázek 4.5-1) je příslušenství testeru zobrazeno.





**Obrázek 4.5-1 Fotografie příslušenství testeru BP Pump 2.**

[3]

## **4.6 Princip funkce testeru**

Tester BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical dokáže monitory krevního tlaku testovat statickými tlakovými testy, např. pro prověření těsnosti pneumatické soustavy přístroje, tak i simulacemi různých krevních tlaků dle nastavení uživatele. Tester je vybaven kovovým trnem, ke kterému se připevňuje talková hadička, propojující tester a testovaný přístroj. Trn je vyústěním tlakového mechanismu testovacího obvodu testeru, který při simulacích krevního tlaku změnou tlaku v měřicím řetězci simuluje oscilace způsobené průtokem krve, při měření krevního tlaku, pod manžetou. Simulovat lze buď různé průběhy tlakové křivky (simulace TK), s možností nastavení hodnot systolického tlaku, diastolického tlaku, pulzu i amplitudy oscilací, nebo konstantní tlak definovaný uživatelem (Static Pressure Tests).

[2]

## 5 Návrh laboratorní úlohy

Pro hlubší pochopení funkce testeru monitorů krevního tlaku BP Pump 2 je třeba zjistit, na jakých principech samotný tester pracuje. To je důležité pro ověření jeho správné funkce a přesnosti měření. Nesprávně nebo nepřesně pracující tester by nemohl být používán pro kalibrace a validace jiných přístrojů. Způsobilost k měření v této práci prověří laboratorní úloha, vytvořená právě pro ověření bezchybného provozu testeru BP Pump 2. Mimo jiné, tato laboratorní úloha bude posléze sloužit jako výukové cvičení v předmětu Zdravotnické elektrické přístroje, který se součástí výukového programu oboru Biomedicínský technik na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava v bakalářském studiu.

V této kapitole je laboratorní úloha pouze stručně popsána, její jednotlivé úkoly zdůvodněny a výsledky vyhodnoceny. Kompletní zadání laboratorní úlohy a výsledky se nachází v přílohách.

### 5.1 Cíl laboratorní úlohy

Cílem úlohy je prověření správné funkce a přesnosti měření testeru BP Pump 2, pochopení techniky neinvazivního měření krevního tlaku a krevního tlaku, jako fyziologické veličiny.

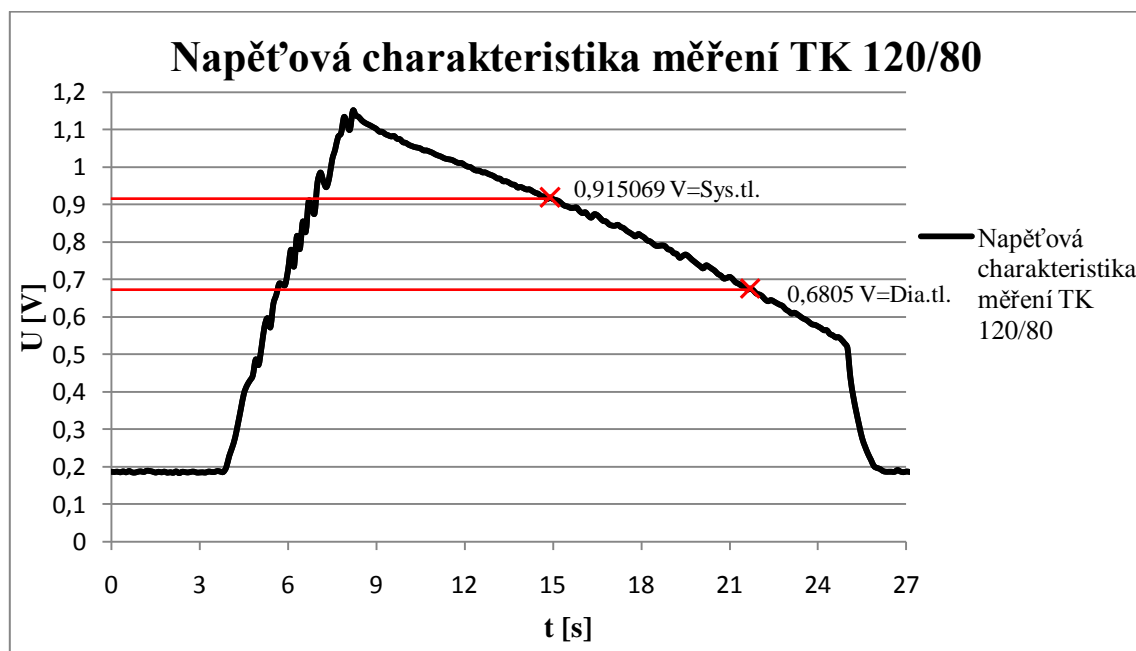
### 5.2 Zadání a výsledky měření

1. Proměřit napětíovou charakteristiku senzoru při testování digitálního tonometru.
2. Provedení série testů na digitálním monitoru krevního tlaku testerem BP Pump 2.

#### 5.2.1 *Napětíová charakteristika senzoru při testování digitálního tonometru.*

Pomocí programu LabView Signal Express byly naměřena napětíová charakteristika senzoru MPX5100D při měření krevního tlaku 120/80 (80bpm) digitálním tonometrem. Aby tato úloha byla realizovatelná, byl vyroben přípravek senzoru tlaku MPX5100D. Výstup přípravku (senzor) byl při měření připojen na A/D převodník; A/D převodník byl přes USB připojen k PC, kde probíhalo měření v programu Signal Express. Výstupem z programu byl záznam napětíové charakteristiky senzoru při průběhu měření krevního tlaku. Proběhl export dat do Microsoft Office Excel, kde se vytvořil z dat graf napětíové charakteristiky senzoru (Graf 5.2-1).

V grafu byly vyznačeny a odečteny hodnoty tlaku systolického i diastolického. Dále proběhl přepočet hodnot napětí na jednotky tlaku (Tabulka 5.2.1-1).



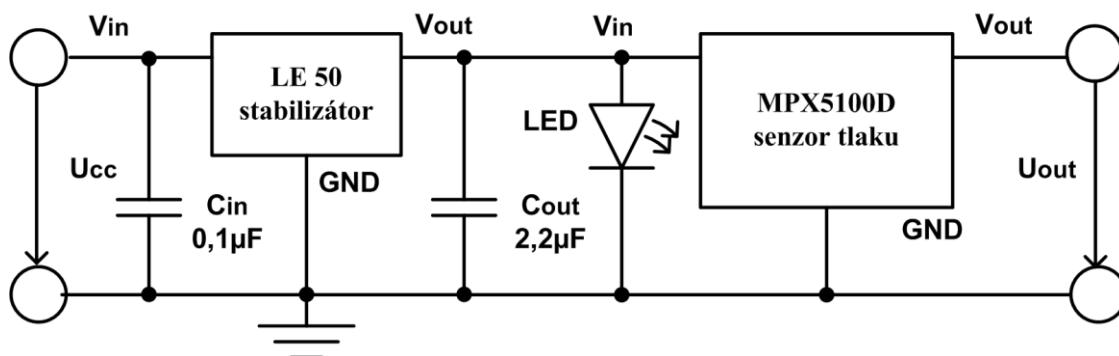
**Graf 5.2-1 Napěťová charakteristika měření TK 120/80.**

	$U_{out}[V]$	$P [kPa]$	$P [mmHg]$
Systolický tlak	0,915069	15,8094	118,58
Diastolický tlak	0,6805	10,6175	79,64

**Tabulka 5.2.1-1 Naměřené hodnoty napětí systolického a diastolického tlaku a jejich přepočet na jednotky tlaku v Pa a mmHg.**

### 5.2.1.1 Přípravek senzoru tlaku MPX5100D

Přípravek obsahuje senzor tlaku MPX5100D, stabilizační obvod a diodu pro indikaci správné funkce. Na obrázku níže (Obrázek 5.2-1) je schéma zapojení přípravku. Fotografie (Obrázek 5.2-2) zobrazuje skutečný přípravek.



Obrázek 5.2-1 Schéma zapojení přípravku senzoru tlaku MPX5100D.



Obrázek 5.2-2 Fotografie přípravku senzoru tlaku MPX5100D.

### 5.2.2 Série testů na digitálním monitoru krevního tlaku

Na digitálním monitoru krevního tlaku UA-767PC od firmy A&D Instruments byla provedena série testů a simulací. Testy a simulace byly spouštěny přes ovládací software Ansur z PC. Byly provedeny tyto testy a simulace: test těsnosti pneumatického systému, test

pojistných ventilů, simulace 120/80 (80bpm) při zapojení I. a II. (s vnitřní manžetou, s externí manžetou), simulace krevního tlaku na základě zdravotního stavu pacienta, simulace arytmií srdce, simulace dýchacích artefaktů a simulace krevního tlaku novorozence. Výsledky jsou uvedeny v tabulce níže (Tabulka 5.2.2-1). Fotografie níže (Obrázek 5.2-3) zobrazuje, pro ilustraci, reálné zapojení měřicího řetězce.



**Obrázek 5.2-3 Fotografie měřicího řetězce při měření.**

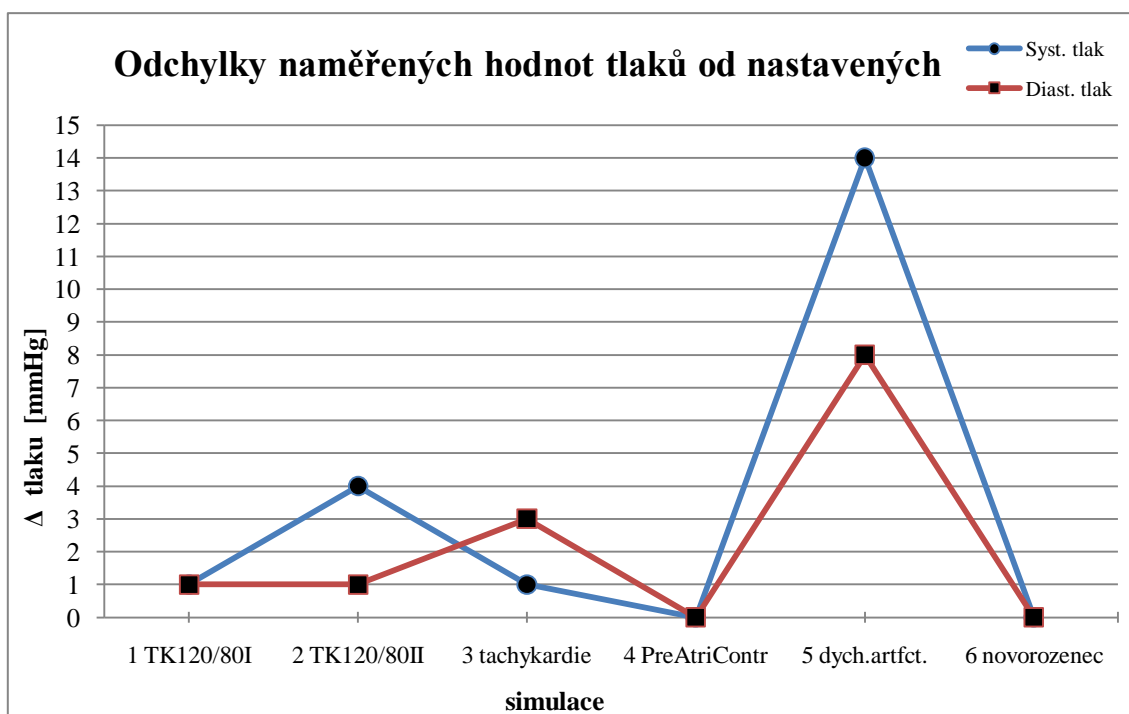
Při testu těsnosti pneumatického systému byla odečtena hodnota tlaku zároveň z testeru a multimetru ESCORT 3146A. Důvodem byla kontrola přesnosti měření BP Pump 2. Výsledky jsou uvedeny v tabulce níže (Tabulka 5.2.2-2). Rozdíly mezi hodnotami naměřenými a nastavenými jsou zobrazeny v grafu (Graf 5.2-2) jako funkce simulací a odchylek naměřených hodnot. Simulace s nulovou (0 mmHg) odchylkou znamenají neúspěšné měření. NIBP monitor nebyl schopen krevní tlak určit (Tabulka 5.2.2-3).

Test pojistných ventilů EX+M [mmHg]	331
Krevní tlak 120/80 (80bpm)EX+M [mmHg;bpm]	121/81 (79)
Krevní tlak 120/80 (80bpm) M [mmHg;bpm]	124/80 (79)
Test těsnosti EX [mmHg/min]	3,7
Tachykardie 120/105 (130bpm) [mmHg;bpm]	119/102 (129)
Pre Atri Contr. 2 144/64 (86bpm)	nezměřeno
Dýchací artefakty 112/47 (86)	126/55 (85)
Krevní tlak novorozence 60/30 (120)	nezměřeno
Sériové číslo	29911-00076
Skupina	A&D Co.,Ltd
Výrobce	A&D Instruments
Typ	digitální tonometr
Model	UA-767PC
Místo	laboratoř BME E203, VŠB-TUO

**Tabulka 5.2.2-1 Naměřená data na monitoru UA-767PC.**

<b>1.</b>	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>	<b>P [kPa]</b>	<b>P [mmHg]</b>
tester BP Pump 2		27,2	204
multimetr ESCORT	1,4	26,54	199
<b>2.</b>	<b>U<sub>out</sub> [V]</b>	<b>P [kPa]</b>	<b>P [mmHg]</b>
tester BP Pump 2		26,53	199
multimetr ESCORT	1,369	25,86	193,9

**Tabulka 5.2.2-2 Odečtené hodnoty napětí a jejich přepočítání na jednotky tlaku.**



**Graf 5.2-2 Odchylky naměřených hodnot tlaků od nastavených.**

	Systolický tlak	Diastolický tlak
	$\Delta$ tlaku [mmHg]	
1 TK120/80I	1	1
2 TK120/80II	4	1
3 tachykardie	1	3
4 PreAtriContr	nezměřeno	nezměřeno
5 dych.artfct.	14	8
6 novorozenec	0 nezměřeno	nezměřeno

**Tabulka 5.2.2-3 Rozdíl tlaku od nastaveného při jednotlivých simulacích.**

### 5.3 Vyhodnocení výsledků

Z měření napěťové charakteristiky senzoru tlak MPX5100D při testování monitoru krevního tlaku UA-767PC byly určeny hodnoty napětí při systolickém a diastolickém tlaku; hodnoty byly přepočteny na jednotky tlaku. Systolický tlak odpovídal hodnotě napětí na senzoru 0,915069 V, čemuž po přepočtu odpovídala hodnota tlaku 118,6 mmHg. Diastolický tlak odpovídal hodnotě napětí na senzoru 0,6805 V, která se po přepočtu rovnala hodnotě tlaku 79,7 mmHg.

Měření proběhlo při simulaci krevního tlaku 120/80 (80bpm). Z výsledků je patrný rozdíl mezi parametry simulace a naměřenými hodnotami napětí přepočítaných na jednotky tlaku. Rozdíl ve výsledcích byl pravděpodobně způsoben nepřesným určením hodnot systolického a diastolického tlaku z grafu (Graf 5.2-1). Rozdíl ve výsledcích je zanedbatelný. Pokud by šlo o chybu testeru, je stále v rámci rozsahu povolené chyby výrobcem ( $\pm 1$  mmHg v rozsahu 0 – 300 mmHg), až na hodnotu systolického tlaku, která se od tolerance liší o 0,4 mmHg. Tento rozdíl pokrývá stále chyba při odečtu hodnot z grafu, případná chyba senzoru a jeho malá citlivost.

Dohromady z výsledků vyplývá, že tester BP Pump 2 při simulaci standardního krevního tlaku 120/80 (80bpm) pracuje přesně.

Dalším úkolem laboratorní úlohy bylo provedení série testů a simulací na NIBP monitoru. Při testu těsnosti pneumatického systému byla na multimetru ESCORT odečtená hodnota napětí na senzoru a zároveň hodnota tlaku na testeru. Po přepočtech napětí na jednotky tlaku bylo zjištěno, že hodnota 1,4 V odpovídá hodnotě 199 mmHg, když tester naměřil 204 mmHg. Druhý odečet napětí 1,369 V odpovídal hodnotě 193,9 mmHg, když tester naměřil 199 mmHg. U obou výsledků je rozdíl mezi testerem naměřeným tlakem a tlakem, přepočítaným z napětí na senzoru, přibližně 5 mmHg. Rozdíl je pravděpodobně způsobem poddajnosti materiálu manžety a tlakových hadiček, protože při testu, který trvá několik minut (test těsnosti pneumatického systému), pomalu postupně klesala hodnota vytvořeného tlaku v tlakovém okruhu s prodlužujícím se časem měření. Další ovlivnění výsledků způsobily nepřesné odečty z přístrojů, chyba multimetru, chyba testeru, která pro statické tlakové testy je výrobcem určena  $\pm 10$  mmHg a chyba senzoru a jeho malá citlivost. Každopádně výsledky spadají do rozsahu povolených chyb testeru, což znamená správnou a přesnou funkci přístroje (dle výrobce), ale pro testování přístrojů ve zdravotnických zařízeních je, kvůli své velké chybě, nevhodný.

V druhé části laboratorní úlohy, testováním digitálního tonometru UA-767PC, se potvrdily pokyny výrobce. Výrobce udává, že tento model dig. tonometru je vhodný pouze pro měření krevního tlaku dospělého člověka bez závažných kardiovaskulárních problémů. Proto byl přesně změřen, s drobnými odchylkami, pouze standardní TK 120/80 (80bpm) a TK člověka s tachykardií. Simulaci TK člověka s projevy dýchacích artefaktů na krevním tlaku změřil absolutně špatně s obrovskou odchylkou od přednastavených hodnot (Syst. tl. –  $\Delta 14$  mmHg; Diast. tl. –  $\Delta 8$  mmHg). Simulaci TK člověka s předčasným stahem síní (Premature Atrial Cont.) a TK novorozence nedokázal změřit. Čímž se jen potvrdil účel, ke kterému je tento dig. tonometr určen. Závěrem testování dig. tonometru je: způsobilý k měření krevního tlaku, ke kterým je určen.



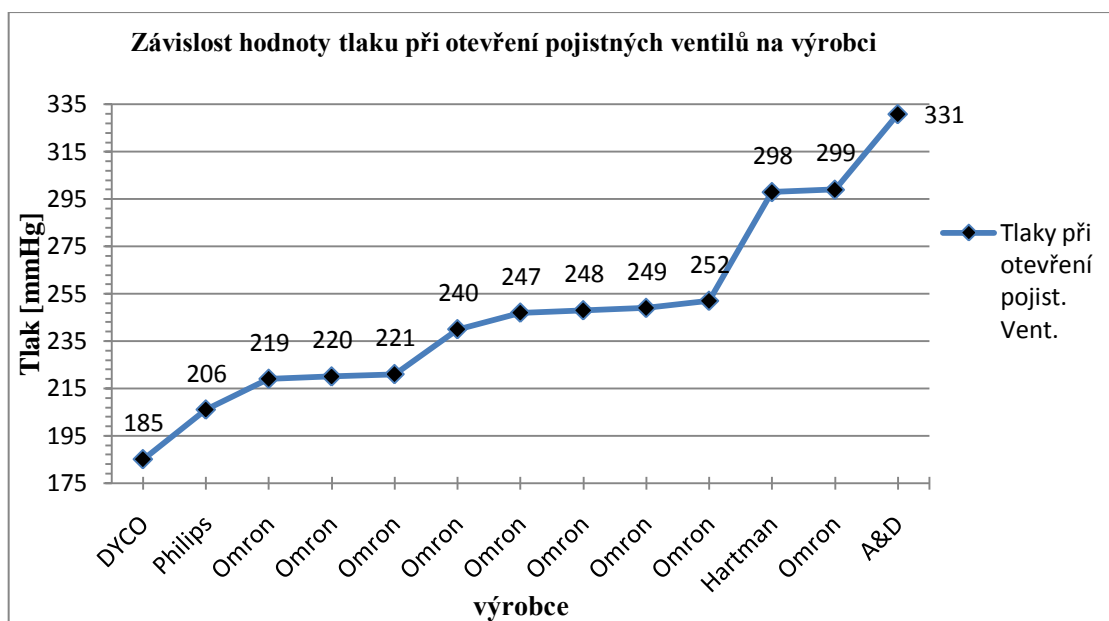
## 6 Testování na NIBP monitorech

Ve dnech 21. a 22. dubna 2010 bylo provedeno testování skupiny NIBP monitorů ve Fakultní nemocnici Ostrava pod odborným vedením pana Ing. Lukáše Čajky. Testováno bylo 17 monitorů krevního tlaku od různých výrobců. Ze 17ti testovaných přístrojů byly 2 patientské monitory, 12 digitálních tonometrů a 3 elektronické sfygmomanometry. Na vybraných přístrojích byl proveden test těsnosti pneumatického systému, test pojistných ventilů, simulace krevního tlaku 120/80 (80bpm) v zapojení měřicího řetězce s vnitřní manžetou i s manžetou externí. Měření proběhlo v prostorách laboratoře biomedicínských techniků a dále na oddělení ortopedie, urologie, chirurgie a neurologie. Zdravotnický personál byl velice ochotný a vyhověl mi se všemi požadavky.

### 6.1 Test pojistných ventilů

Při testu pojistných ventilů se prověří, jestli je správně nastavená kritická hodnota tlaku, při které se mají pojistné ventily otevřít, když nastane jakákoliv porucha. Opatření je nutné pro ochranu zdraví pacienta.

Z grafu (Graf 6.1-1) je patrné, že hodnoty tlaku při otevření pojistných ventilů se značně liší. Je to jednak způsobeno různým továrním nastavením, každý výrobce si stanoví vlastní hodnotu tlaku pro otevření ventilů, a jednak různorodostí testovaných přístrojů. Každý je určen pro jiné měření krevního tlaku. Normou daná je maximální hodnota tlaku a doba, po které se musí ventily otevřít a manžeta vyfouknout, aby nebylo pacientovi poškozeno zdraví.

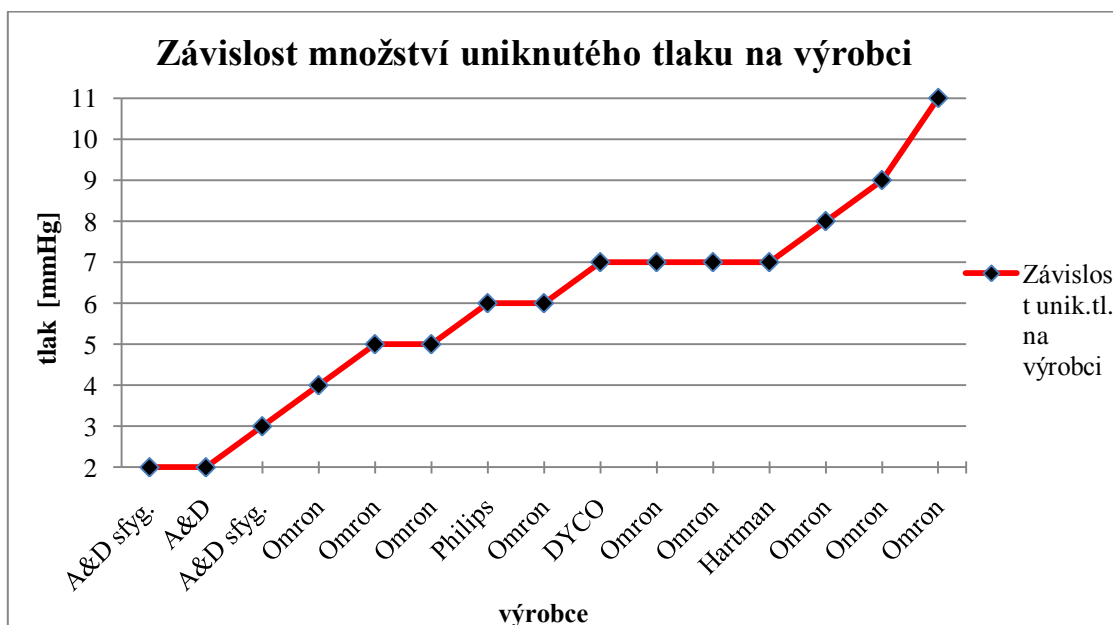


**Graf 6.1-1 Závislost hodnoty tlaku při otevření pojistných ventilů na výrobci.**

## 6.2 Test těsnosti pneumatického systému

Test těsnosti pneumatického systému NIBP monitoru prověří, zdali v tlakovém systému nedochází k úniku tlaku. Ten by potom výrazně ovlivňoval výsledky měření.

Nejlépe při tomto test obstály přístroje od firmy A&D Instruments (1 dig. tonometr, 2 elektronické sfygmomanometry); tester u těchto přístrojů naměřil nejmenší úniky tlaku. Výsledky velice záležely na výrobním datu jednotlivých přístrojů. U starších tonometrů Omron byl úniky tlaku značný (7 – 11 mmHg/min). Graf níže () zobrazuje závislost množství uniknutého tlaku na výrobci. Stáří přístrojů jsem bohužel nemohl zahrnout do tohoto grafu, protože jsem neměl přístup k jejich dokumentaci.



Graf 6.2-1 Závislost množství uniknutého tlaku na výrobci

## 6.3 Simulace krevního tlaku 120/80 (80bpm)

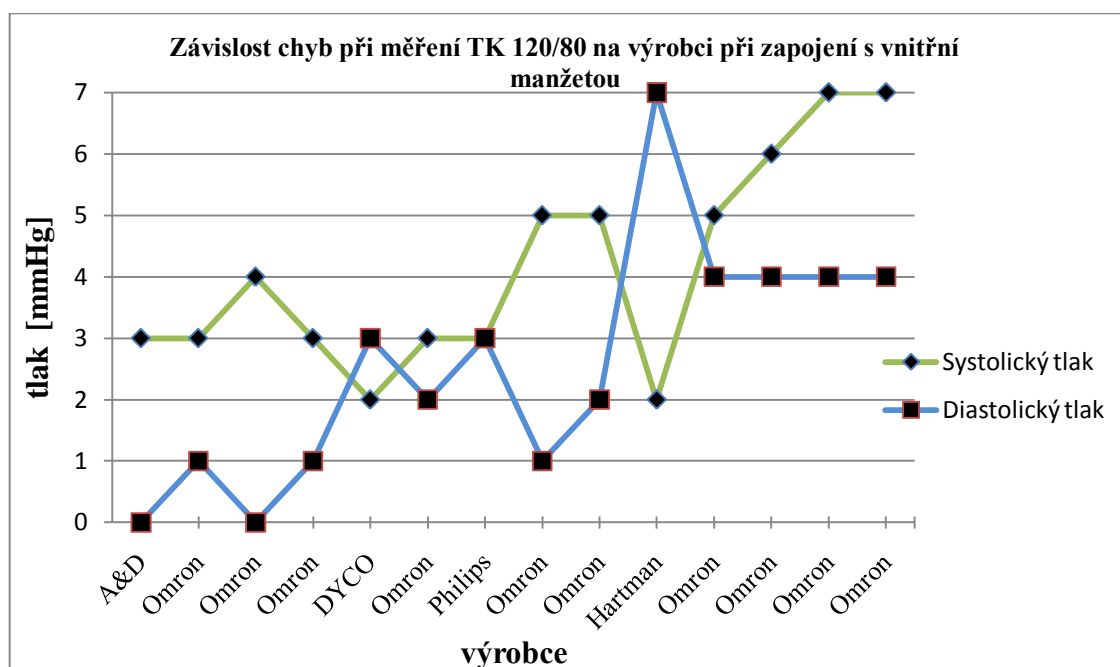
Tato simulace byla prováděna při dvou zapojení měřicího řetězce. Zapojení s vnitřní manžetou a zapojení s externí manžetou. Důvodem je očekávaná odlišnost výsledků.

Při zapojení s vnitřní manžetou byla průměrná odchylka od přednastavené hodnoty systolického tlaku 4,1 mmHg a tlaku diastolického 2,6 mmHg. Při zapojení s externí manžetou byla průměrná odchylka od přednastavené hodnoty systolického tlaku 3,4 mmHg a tlaku diastolického 3,1 mmHg. Podle normy, která upravuje maximální střední odchylku, ČSN EN 60601-2-30 z roku 2001 může být max. střed. odchylka  $\pm 5$  mmHg, což je rozmezí tolerance dle normy. V době vypracování této práce novela normy ČSN EN 60601-2-30 bohužel nebyla

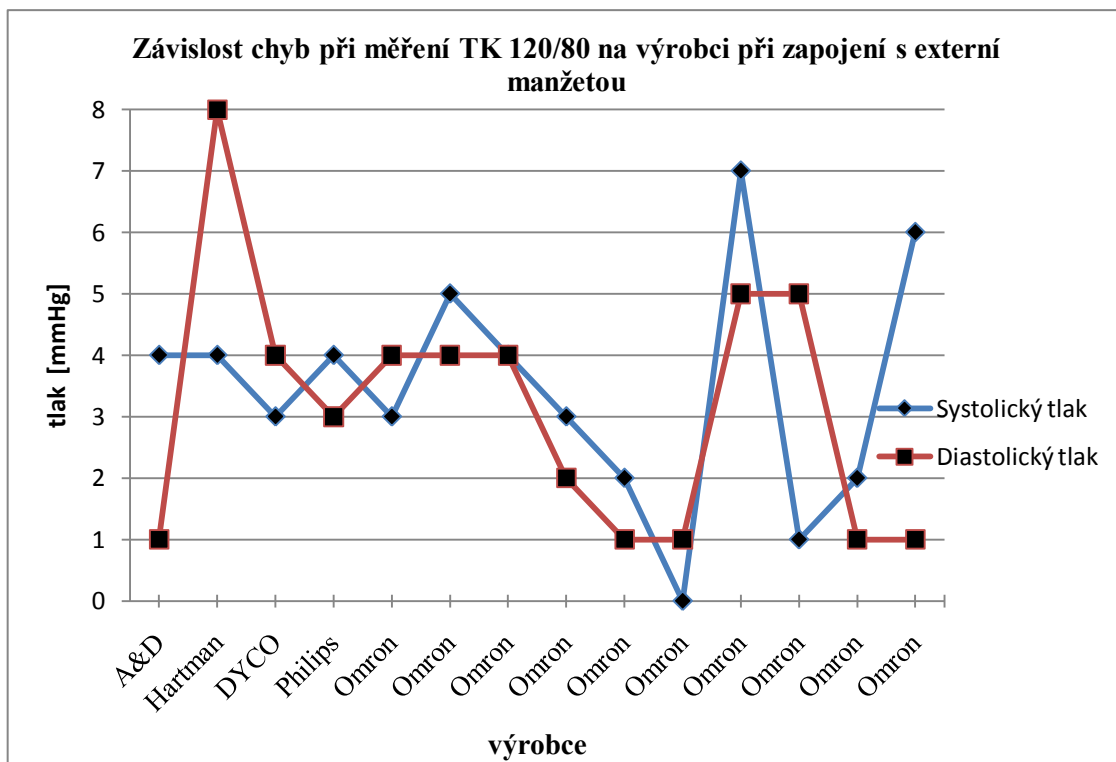
dostupná v kompletním znění, ale alespoň její přibližná náplň ano. Dojde k jejímu řádnému nastudování a poté přehodnocení dosažených výsledků.

Graf (Graf 6.3-1; Graf 6.3-2) znázorňuje závislost chyb měření na výrobci. Výsledky se liší z různých důvodů. Jednak je to pestrost přístrojů co se týče jejich stáří, kvalita provedení algoritmů, používaných v dig. tonometru pro výpočet tlaku podle naměřených oscilací při měření. Každý výrobce navíc udává svou toleranci chyb při měření a podmínky užívání dig. tonometru. Nejlépe z testu vyšel přístroj A&D. Přístroje od firmy Omron měly velký rozsah chyb. Ty přístroje od firmy Omron, které měly nejmenší chybu, byly pravděpodobně novějšího daty výroby a patřily do vyšší třídy tonometrů Omron. To znamená vyšší přesnost měření.

Při zapojení s vnitřní manžetou a s externí manžetou byly průměrné chyby měření téměř identické; obě dvě hodnoty byly přibližně 3,3 mmHg. Nejvýraznější byly chyby u systolického tlaku při zapojení s vnitřní manžetou. Při této hodnotě tlaku dochází z důvodů stáří přístroje k nejčastějším výkyvům měřeného tlaku.



**Graf 6.3-1 Závislost chyb při měření TK 120/80 na výrobci při zapojení s vnitřní manžetou.**



**Graf 6.3-2 Závislost chyb při měření TK 120/80 na výrobci při zapojení s externí manžetou.**

## 7 Závěr

Výsledky měření přesnosti měření testeru BP Pump 2 a série testů provedena na skupině NIBP monitorů ukazují, že tester monitorů neinvazivního krevního tlaku BP Pump 2 od firmy FLUKE Biomedical není vhodný pro praktické využití při pravidelných kontrolách NIBP monitorů. Nejen NIBP monitory, používané ve zdravotnických zařízeních, podléhají přísným kontrolám a požadavkům norem, ale i samotné testery musí splňovat požadavky norem, určujících s jakou přesností musí fungovat.

Jako další postup této práce by mělo být podrobné nastudování platných norem upravujících požadavky na NIBP monitory a testery těchto přístrojů. Dále by pozornost měla směřovat k přesnějšímu prozkoumání principů fungování testeru NIBP monitorů a jejich pochopení.

Tato práce jistě přispěla ke zlepšení technického stavu NIBP monitorů ve Fakultní nemocnici Ostrava. Pomůže studentům oboru Biomedicínský technik ke snazšímu pochopení krevního tlaku jako fyziologické veličiny, pochopení ovládání testeru BP Pump 2, naučení se měření při využití různých měřicích přístrojů a různých měřitelných veličin.

# Literatura

- [1]ČVUT FBMI. *Lékař a technika - periodikum* [on line]. Praha: ČVUT FBMI, 2008/1. [citováno dne 7. 5. 2010]. Dostupné z <[http:// biomed.fbmi.cvut.cz/LaT\\_08\\_1.htm](http://biomed.fbmi.cvut.cz/LaT_08_1.htm)>
- [2]IMRAMOVSKÝ, M. *Zdravotnické elektrické přístroje I – skriptum* [CD-ROM]. VŠB-TUO Ostrava, 2007.
- [3]*BP Pump 2 - operator manual* [on line]. Everett: Fluke Biomedical, 2007. Dostupné na <[http://assets.fluke.com/manuals/bppump2\\_omeng0000.pdf](http://assets.fluke.com/manuals/bppump2_omeng0000.pdf)>
- [4]*BP Pump 2 – plug in user manual* [CD-ROM]. Everett: Fluke Biomedical, 2007.

# Seznam příloh

- Příloha I.**      Laboratorní úloha – zadání  
**Příloha II.**     Laboratorní úloha – vypracování